

複素べき級数展開に基づく アダプティブプリディストーションリニアライザ

Adaptive Predistortion Linearizer based on Complex Power Series Expansion

阪口 啓¹
Kei Sakaguchi

荒木 純道¹
Kiyomichi Araki

小林 時雄²
Tokio Kobayashi

東京工業大学¹
Tokyo Institute of Technology

ギガテック株式会社²
Gigatec Corporation

1 まえがき

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する技術としてアダプティブプリディストーションリニアライザが近年注目を集めている [1]。プリディストーションアルゴリズムとしてはテーブルルックアップ方式 [2] が一般的に用いられているが、アルゴリズムの収束特性や回路規模に問題がある。本研究ではこれらの問題を解決するために複素べき級数展開に基づくアルゴリズム [3] を導入する。本稿では特にプリディストーションアンプの設計法およびその制御法を検討したので報告する。

2 複素べき級数展開を用いた電力増幅器のモデル化

図 1 に示す様にプリディストーションの対象となるターゲットアンプの特性を $A_k (k = 1, 3, \dots)$ で、プリディストーションアンプの特性を $B_k (k = 1, 3, \dots)$ で表すと、その入出力特性は複素べき級数展開を用いて以下の様にモデル化することができる。

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

$$B_{\text{out}}(t) = \sum_{k=1}^K B_k |B_{\text{in}}(t)|^{k-1} B_{\text{in}}(t) \quad (2)$$

但しターゲットアンプに関しては帯域系における信号のみを考慮し、またプリディストーションアンプに関してはデジタルベースバンド系における信号のみを考慮している。

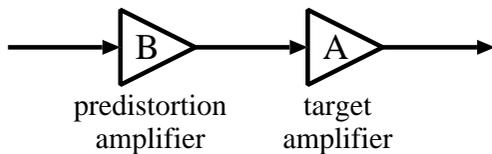


図 1: プリディストーションアンプとターゲットアンプ

3 プリディストーションリニアライザ

提案型プリディストーションリニアライザのアーキテクチャを図 2 に示す。本提案手法はターゲットアンプのモデル化、その逆特性を有するプリディストーションアンプの設計、およびプリディストーションアンプの基本波係数、すなわちバックオフの設定から成る。なおターゲットアンプの逆特性を有するプリディストーションア

ンプの係数を直接求める手法も考えられるが、ここでは系の安定性および収束特性を重視した [4]。

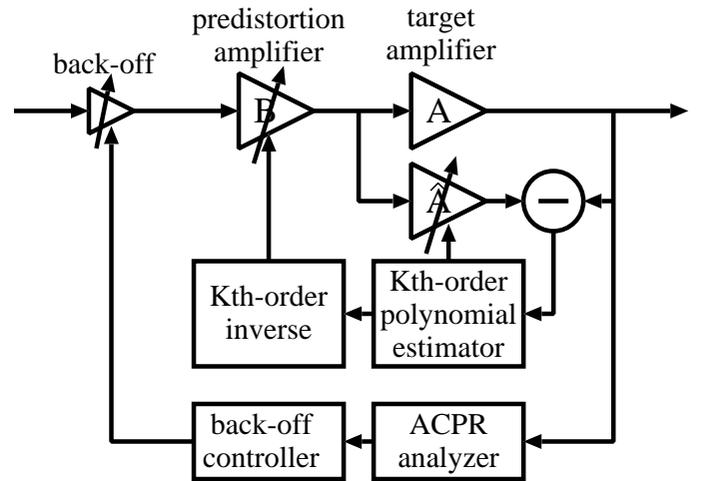


図 2: 提案型プリディストーションリニアライザ

A) ターゲットアンプの特性解析

式 (1) に示すターゲットアンプの係数学習は式 (3) を最小自乗法もしくは逐次最小自乗法を用いて解くことにより計算できる。

$$A_{\text{out}} = [A_{\text{in}} \cdots |A_{\text{in}}|^{K-1} A_{\text{in}}] A \quad (3)$$

ここで $A_{\text{out}}, A_{\text{in}}, A$ は以下の様に定義される。

$$A_{\text{out}} = [A_{\text{out}}(1) \cdots A_{\text{out}}(L)]^T \quad (4)$$

$$A_{\text{in}} = [A_{\text{in}}(1) \cdots A_{\text{in}}(L)]^T \quad (5)$$

$$A = [A_1 \cdots A_K]^T \quad (6)$$

B) プリディストーションアンプの設計

ターゲットアンプの特性解析結果を用いて、その逆特性を有するプリディストーションアンプの係数は以下の様に決定論的に計算することができる。

$$B_1 = B_1 \quad (7)$$

$$B_3 = -B_1 |B_1|^2 \frac{A_3}{A_1} \quad (8)$$

$$B_5 = -B_1 |B_1|^4 \frac{A_5}{A_1} + (2|B_1|^2 B_3 + B_1^2 B_3^*) \frac{A_3}{A_1} \quad (9)$$

$$B_7 = -B_1 |B_1|^6 \frac{A_7}{A_1} + (2|B_1|^2 B_5 + B_1^2 B_5^*)$$

$$\begin{aligned}
& +2|B_3|^2 B_1 + B_3^2 B_1^* \frac{A_3}{A_1} + (3|B_1|^4 B_3 \\
& +2|B_1|^2 B_1^2 B_2^*) \frac{A_5}{A_1}
\end{aligned} \quad (10)$$

C) バックオフの設定

プリディストーションアンプの基本波係数 B_1 はプリディストーションアンプ入力信号のバックオフに相当する。ただし本稿においてバックオフは入力飽和電力に対する相対値として定義している。この係数はターゲットアンプの係数学習特性およびプリディストーションリニアライザの出力特性の両方に影響を与えるため非常に重要なパラメタとなる。ここでは隣接チャネル漏洩電力 $ACPR$ の既定値 $ACPR_{\text{regulation}}$ に対する比 $ACPR_{\text{error}}$ を評価関数としてバックオフを下式に基づき逐次的に求める。ここでは K 次の複素べき級数を用いてプリディストーションアンプを設計しているため、評価関数は基本波成分の $K+2$ 乗に比例する特徴を利用している。

$$B_1(N+1) = B_1(N) \cdot ACPR_{\text{error}}^{-(K+2)} \quad (11)$$

$$ACPR_{\text{error}} = \frac{ACPR}{ACPR_{\text{regulation}}} \quad (12)$$

4 計算機シミュレーション

シミュレーションに用いたターゲットアンプの AM/AM 特性 ($\rho_{\text{in}}/\rho_{\text{out}}$) および AM/PM 特性 ($\phi_{\text{in}}/\phi_{\text{out}}$) は以下の式を用いた [5]。

$$\rho_{\text{out}} = \frac{2\rho_{\text{in}}}{1 + \rho_{\text{in}}^2} \quad (13)$$

$$\phi_{\text{out}} = \phi_{\text{in}} + \frac{\pi}{3} \frac{\rho_{\text{in}}^2}{1 + \rho_{\text{in}}^2} \quad (14)$$

5次までの歪み補償を行なった場合のプリディストーションリニアライザの AM/AM 特性および AM/PM 特性を図3および4に示す。また入力信号に W-CDMA3

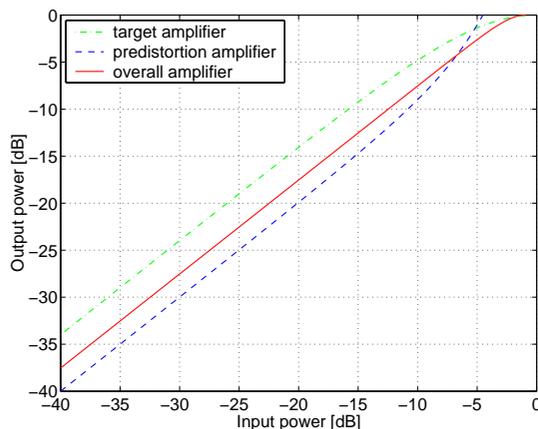


図3: 提案型リニアライザの AM/AM 特性

キャリア信号を用いたときのプリディストーションリニアライザの出力周波数特性を図5に示す。ただし隣接チャネル漏洩電力の既定値は 5[MHz] 離調で -45[dBc]、10[MHz] 離調で -50[dBc] とし、バックオフは収束値である約 -6[dB] を用いている。

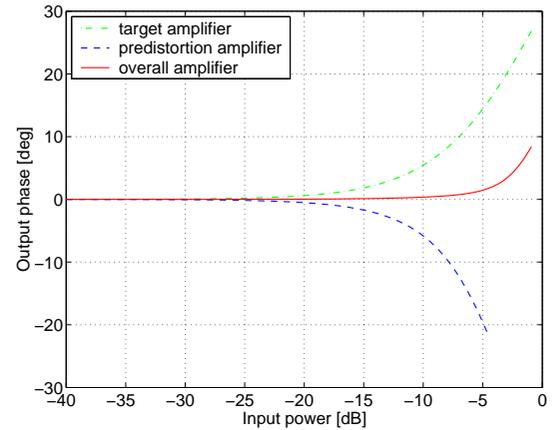


図4: 提案型リニアライザの AM/PM 特性

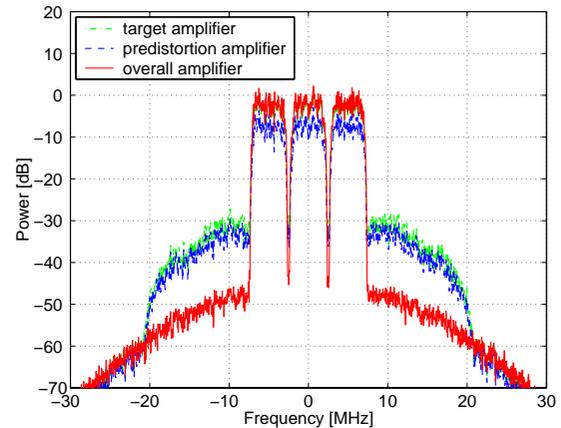


図5: W-CDMA 信号の電力増幅器出力周波数スペクトル

以上よりプリディストーションアンプがターゲットアンプの非線形特性を補償し、隣接チャネル漏洩電力が既定値を満たす範囲内で出力電力を最大化する特性を持っていることがわかる。

5 まとめ

複素べき級数展開に基づくアダプティブプリディストーションリニアライザのプリディストーションアンプの設計法および制御法を提案した。特にバックオフの制御法に関しては、隣接チャネル漏洩電力の既定値からの誤差を評価関数とすることで、決められた範囲内で所望出力電力を最大化するプリディストーションアンプの設計が可能であることが分かった。

参考文献

- [1] 石川, 長谷, 久保, 戸澤, 濱野, “W-CDMA 基地局用適応歪補償装置の開発,” 信学ソ大, C-2-31, 2002年9月.
- [2] 小坂, ドアン, 阪口, 高田, 荒木, “電力増幅器のためのデジタルプリディストーションリニアライザの実装,” 信学全大, 2003年3月.
- [3] V.J.Mathews, G.L.Sicuranza, *Polynomial Signal Processing*, John Wiley & Sons, 2000.
- [4] J.T.Stonick, V.L.Stonick, J.M.F.Moura, “Multi-Stage Adaptive Predistortion of HPA Saturation Effects for Digital Television Transmission,” in Proc. IEEE ICASSP'99, pp.1480-1484, 1999.
- [5] A.A.M.Saleh, J.Salz, “Adaptive Linearization of Power Amplification in digital radio systems,” Bell System Technical Journal, Vol.62, No.4, Apr. 1983.